

VPLYV TLAKU NA PARAMETRE KRYŠTALIZÁCIE PRI TLAKOVOM LIATÍ INFLUENCE OF PRESSURE ON CRYSTALLIZATION PARAMETERS BY DIE CASTING PROCESS

J. MALIK¹, P. FUTÁŠ², I. VASKOVÁ³

ABSTRAKT: Štruktúra a vlastnosti liatych kovov a zliatin sú v značnej miere ovplyvňované podmienkami kryštalizácie. Technologickými zásahmi do priebehu kryštalizácie je možné zlepšiť i mechanické vlastnosti a štruktúru. Kryštalizačný pochod sa v praxi prevažne ovplyvňuje zmenou rýchlosti ochladzovania, zmenou podmienok nukleácie alebo rastu štruktúrnych zložiek. Z doterajších výsledkov vyplýva, že odliatky odlievane pod tlakom počas tuhnutia sa vyznačujú lepšími mechanickými vlastnosťami. Menovité ovplyvňovanie kryštalizácie tlakom je posudzované veľmi pozitívne pre vysokú presnosť, zvýšenú hermetickosť a lepšie mechanické vlastnosti odliatkov.

ABSTRACT: The structure and properties of pouring metal and alloys are influenced by crystallization conditions. By the technological change is possible to improve mechanical properties and structure. The crystallization is influenced by cooling rate, change of nucleation condition or growth of structural components. Present results from that casting pouring die casting during solidification has better mechanical properties. Crystallization influence by pressure is positively evaluate due to high precision, advance hermetic and better mechanical properties of casting.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: kryštalizácia, tlakové liatie odliatok

KEYWORDS: crystallization, die casting, casting

1 KRYŠTALIZÁCIA PRI PÔSOBNÍ TLAKU

Liatie pod tlakom predstavuje najvyšší technologický stupeň liatia do kovových foriem, pričom tlak pôsobí po celý čas tuhnutia odliatku. Kryštalizácia sa začína vznikom kryštalizačných centier a ich nasledujúcim rastom. Kinetika fázovej premeny je charakterizovaná počtom zárodkov n vznikajúcich v jednotke objemu za jednotku času a lineárnej rýchlosti rastu kryštálov. Pri vyššej rýchlosti nukleácie zárodkov a menšej rýchlosti rastu sa tvoria drobnejšie zrna. Závislosť množstva zrn od parametrov kryštalizácie je daná vzťahom:

$$N = a^4 \sqrt{\frac{n^3}{v_k^3} \cdot V_0} \quad (1)$$

kde: N - množstvo zrn,

¹ Doc. Ing. Jozef Malik, CSc. – Katedra metalurgie železa a zliavenstva, HF, TU, Košice, Slovensko

² Ing. Peter Futáš, PhD. – Katedra metalurgie železa a zliavenstva, HF, TU, Košice, Slovensko

³ Ing. Iveta Vasková, PhD. – Katedra metalurgie železa a zliavenstva, HF, TU, Košice, Slovensko

n - počet zárodkov,
 v_k - lineárna rýchlosť rastu kryštálov,
 a - koeficient proporcionálnosti,
 V_0 - prvotný objem tekutej fázy.

Centrá kryštalizácie môžu vznikať v objeme tekutej fázy spontanne, ale tiež na vtrúseninách, ktoré sú v tavenine. V súlade s molekulárno-kinetickou teóriou kryštalizácie Frenkela, Volmera, Danilova spontanná nukleácia vzniká pri existencii heterofázových fluktuácií v malých oblastiach taveniny, ktoré majú podobné rozloženie atómov ako v kryštale. Pre vznik zárodku kritického rozmeru je potrebná práca:

$$A_k = \frac{1}{3} \sum_i S_i \cdot \sigma_i \quad (2)$$

kde: A_k - práca pre vznik zárodku,
 σ_i - povrchové napätie taveniny na i -tej hrane,
 S_i - povrch i -tej hrany zárodočného kryštálu.

Ak pri homogénnej nukleácii pre kritický rozmer zárodku platí:

$$r_k = \frac{2 \cdot \sigma \cdot T_l}{\rho \cdot L_l \cdot \Delta T} \quad (3)$$

Potom po dosadení pre kritický rozmer zárodku z Claisius – Clapeyronovej rovnice:

$$T_l = \frac{dT}{dP} \cdot \frac{L_l}{(V_l - V_s)} \quad (4)$$

dostaneme, že:

$$r_k = \frac{2 \cdot \sigma \cdot dT}{\rho \cdot \Delta T (V_l - V_s) dP} \quad (5)$$

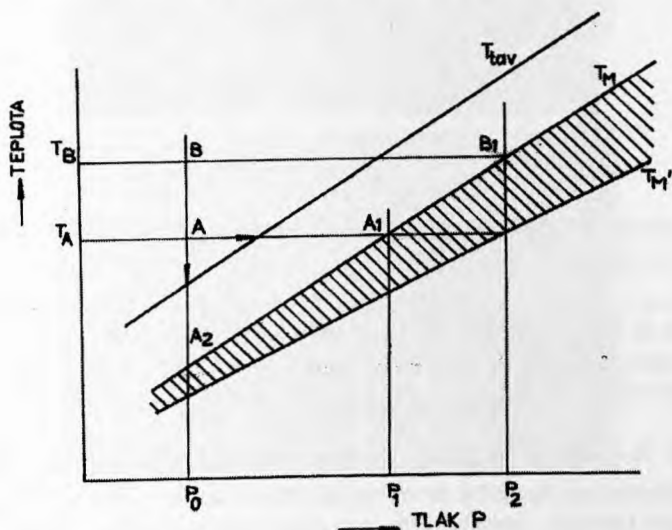
kde: dT - zmena teploty tavenia v závislosti od zmeny tlaku,
 dP - zmena tlaku,
 T_l - teplota tavenia,
 V_l - merné skupenské teplo tavenia,
 ρ - merná hmotnosť taveniny,
 V_l - objem v tekutej fáze,
 V_s - objem v tuhej fáze,
 σ - povrchové napätie,
 ΔT - podchladenie.

Analýzou vzťahu (5) sa ukazuje, že zmenšenie rozmerov kritického zárodku je možné dosiahnuť nielen znížením povrchového medzifázového napätia σ a zvýšením podchladenia ΔT , ale aj

zvýšením tlaku dP . Zmenšenie práce potrebnej k vzniku zárodkov pri samovoľnej kryštalizácii a kryštalizácii na vnieskách a teda zvýšením množstva kryštalizačných zárodkov môže sa dosiahnuť znížením povrchového napätia na hranici tavenina – kryštál, zvýšením podchladenia a vonkajšieho tlaku. Všetky tieto faktory pôsobia na zvýšenie rýchlosti vzniku zárodkov kryštalizácie a spôsobujú vznik jemnozrnnej štruktúry kovov a zliatin.

Vedúcu úlohu pri zvýšených tlakoch v procese nukleácie má podchladenie. Zvýšenie podchladenia spôsobuje značné urýchlenie tuhnutia taveniny pod tlakom následkom intenzívnejšej výmeny tepla medzi taveninou a formou, zvýšenie tvrdosti a tepelnej vodivosti. Zvýšenie tlaku v tavenine je analogické zvýšeniu nukleácie zárodkov. Schematické znázornenie pôsobenia tlaku je nasledovné, obr.1.

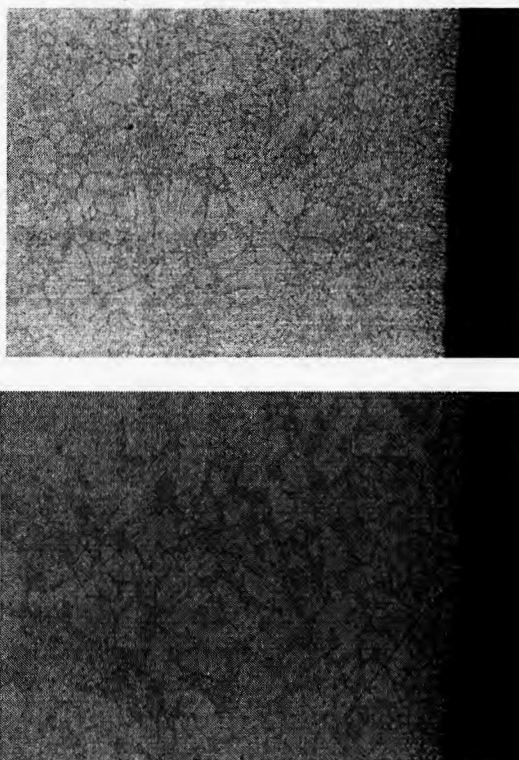
Ak vo východiskovom stave má tavenina teplotu vyššiu ako teplota T_i , obr. 1 bod A, je pre vznik zárodkov nutné vytvoriť v tavenine taký stav, kedy je podchladenie nižšie ako T_m . To môže byť dosiahnuté ochladením taveniny pri východiskovom tlaku p_0 ($A - A_2$). Súčasne ochladenie celej taveniny nie je možné, pretože tuhnutie začína od povrchu skôr ako sa vo vnútorných oblastiach dosiahne dostatočné podchladenie pre nukleáciu zárodkov. Veľký význam má teplota v okamžiku narastania tlaku a rýchlosť narastania tlaku. Interval podchladenia, v ktorom množstvo vznikajúcich zárodkov narastá, je obyčajne niekoľko stupňov. Preto ak je v tavenine podchladenie $T_M = T_i - T_M'$, pri ktorom prakticky začínajú vznikať centrá kryštalizácie, alebo ak je teplota tavenia blízka teplote T_M a ΔT je malé, zvýšenie podchladenia o niekoľko stupňov pri súčasnom pôsobení tlaku na kryštalizujúcu taveninu zvyšuje počet zárodkov a tým zjemňuje lejaciu štruktúru odliatku. Pri každej teplote existuje medzný tlak. Nižší tlak ako medzný je neefektívny z hľadiska nukleácie zárodkov. Čím vyšší je medzný tlak, tým menej sa podchladí tavenina a vzniká jemné zrnó.



Obr.1 – Vplyv tlaku na teplotu tavenia

2 ANALÝZA ŠTRUKTÚR

Štruktúra je v súlade s chemickým zložením zliatiny podľa STN 42 4331. Je tvorená α tuhým roztokom vylúčeným primárne a eutektikom pozostávajúcim z α tuhého roztoku a kremíka. Typickým pre odliatky liate pod tlakom je prítomnosť veľmi jemných kryštálov v pásme odliatku pri líci formy, čo je dokumentované na obr. 2.



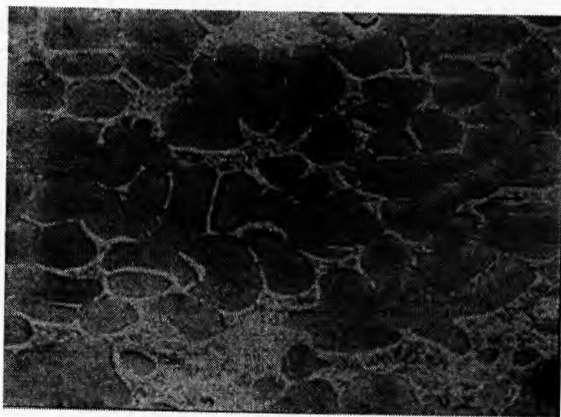
Obr.2 – Mikroštruktúra okrajovej časti vzorky

Hrúbka tohto pásma je rozdielna od niekoľkých μm až do 1 mm. Prechod pásma jemných kryštálov do oblasti hrubšej štruktúry je plynulý.

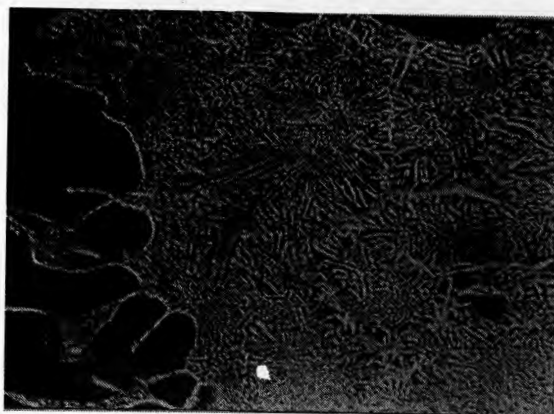
Vznik pásma jemnej štruktúry súvisí so stupňom podchladenia pri líci formy, ktorý závisí od teploty formy, ako aj od umiestnenia zárezu a spôsobu plnenia formy.

Ďalšia kryštalizácia prebieha pri zmene tepelných a tlakových podmienok, vplyvom ktorých sa porušuje najmä usmernenosť tuhnutia a režim plnenia formy má prevahu nad rýchlosťou odvodu tepla.

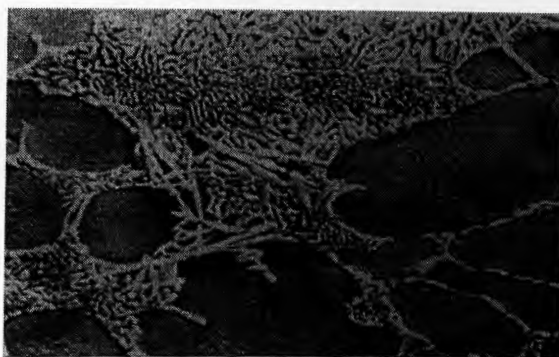
Hodnotenie β fázy tlakovo liatych odlievok podľa STN je obtiažne. Čitateľnosť štruktúry s cieľom určenia morfológie kremíka je veľmi nevýrazná ani pri 2000 násobnom zväčšení. Preto analýza morfológie kremíka eutektického sa realizovala pomocou REMu. Výsledky týchto pozorovaní sú dokumentované na obr. 3 a 4.



Obr. 3 – Základná štruktúra



Obr. 4 – Zrastanie eutektických buniek



Obr. 5 – Detail z obr.4

Pre pozorovanie na REM boli použité vzorky v leptanom stave. Tmavé oblasti sú α tuhým roztokom, biele častice reprezentujú eutektický kremík.

Na obr.3 je dokumentovaná základná štruktúra odliatku, z ktorého vyplýva, že prevažná časť znázornenej plochy je tvorená eutektikom.

Pri väčšom zväčšení plochy, na ktorej sa vyskytuje eutektikum, obr. 4, je vidieť zrastanie jednotlivých eutektických buniek, čo na obrázku sa prejavuje svetlými krivoľakými pásikmi.

Morfológia eutektického kremíka je čitateľná až pri 6000 násobnom zväčšení a väčšom. Z obr. 4 a 5 jednoznačne vyplýva, že pri tlakovom liatí eutektický kremík kryštalizuje vo forme dosák s veľmi malou hrúbkou. Dĺžka týchto dosák je rozličná. Súvisí to pravdepodobne s pôsobením tlaku pri kryštalizácii, ale aj s polohou dosák relatívne k rovine výbrusu.

Na základe uvedenej fotografickej dokumentácie nie je možné usúdiť o rozhraní dvoch eutektických fáz (α tuhého roztoku a kremíka). Je možné však tvrdiť, že kryštály kremíka eutektického nemajú vetvenie charakteristické pre modifikovaný kremík v eutektiku. To dokazuje, že vplyvom tlaku v štruktúre prebiehajú iba kvantitatívne zmeny v zmysle zmenšenia štruktúrnych parametrov.

3 LITERATURA

- [1] MALIK, J.: Technológia tlakového liatia zliatin hliníka, Habilitačná práca, TU-HF Košice, 2008
- [2] BOLIBRUCHOVÁ, D.- BECHNÝ, B.- SLÁDEK, A.- TILLOVA, E.- CHALUPOVÁ, M.: O vplyvňovanie kryštalizácie zliatiny AlSi7MgTi očkovaním, modifikovaním a mikrolegovaním, Slévárenství č.4, 2000
- [3] RAGAN, E. a kol.: Liatie kovov pod tlakom, Prešov 2007, ISBN 978-80-8073-979-9